



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1725289** **A1**

(51) **5** H 01 J 49/40

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГИИТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4722073/21

(22) 20.07.89

(46) 07.04.92. Бюл. № 13

(71) Институт ядерной физики
АН КазССР

(72) Л.М.Назаренко, Л.М.Секунова
и Е.М.Якушев

(53) 621.384(088.8)

(56) Int. J. Mass-Spectrom. Ion Proc.,
1989, v.88, p.21-28.

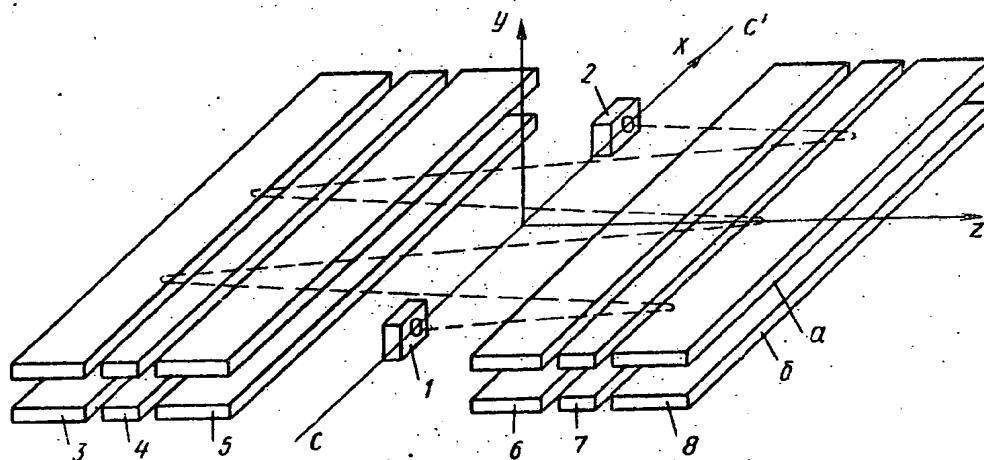
Сысоев А.А. Применение ионных
зеркал во времяпролетном масс-спек-
трометре МСХ-34. Приборы и техника
эксперимента, 1973, № 5, с.174-176.

Дауменов Т.Д. и др. Ионно-опти-
ческие характеристики времяпролет-
ного зеркального масс-спектрометра.
"Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат.",
1986, № 2, с.77-78.

2

(54) ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ МАСС-СПЕКТРО-
МЕТР С МНОГОКРАТНЫМ ОТРАЖЕНИЕМ

(57) Изобретение относится к масс-
спектрометрии. Целью изобретения
является увеличение светосилы и по-
вышение разрешающей способности за
счет обеспечения пространственной
фокусировки. Цель достигается тем,
что в устройство введены два бес-
сеточных электростатических зеркала,
каждое из которых состоит из электро-
дов 3, 4, 5 и 6, 7, 8 соответствен-
но. Electroды зеркал выполнены в
виде пластин, симметрично распо-
ложенных относительно средней плоско-
сти, а источник 1 и приемник 2 ионов
расположены в бесполовом простран-
стве между ионными зеркалами. Зерка-
ла обеспечивают многократное отра-
жение ионного пакета. 1 ил.



(19) **SU** (11) **1725289** **A1**

Изобретение относится к масс-спектрометрии, физической электронике и электронной оптике.

Известны времяпролетные масс-спектрометры с многократным отражением ионного пучка, в которых в качестве отражающих элементов используются электростатические зеркала, составленные из электродов, выполненных в виде диафрагм и трубок или в виде сеток.

Зеркала обеспечивают беспрепятственное прохождение ионного пучка, одновременную пространственную фокусировку и времяпролетную фокусировку по энергии второго порядка. Каждое отражение ионного пучка осуществляется отдельным ионным зеркалом, что усложняет конструкцию прибора и накладывает определенные трудности в юстировке при реализации многократного отражения. Многократное отражение может осуществляться двумя зеркалами. Отражение ионного пучка в них производится электростатическими полями, формируемыми сеточными электродами. Проходя сквозь эти электроды, ионный пакет теряет часть интенсивности вследствие физического перекрытия пучка сетками и его рассеяния на них. Электростатические зеркала обеспечивают только времяпролетную фокусировку. С целью ввода и вывода ионов обеспечивается импульсное питание электродов ионных зеркал, что накладывает дополнительные ограничения на частоту подачи анализируемых пакетов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является времяпролетный масс-спектрометр, содержащий источник и приемник ионов и два ионных зеркала, обеспечивающих многократное отражение ионного пакета. Электроды каждого из зеркал выполнены в виде плоских, параллельных одна другой сеток, находящихся под постоянными потенциалами. Ионные зеркала расположены по обе стороны от дрейфового пространства и параллельны между собой.

Недостатком известного прибора является то, что на пути движения ионного пакета расположены сеточные электроды, которые частично перекры-

вают ионный поток из-за ограниченной прозрачности и рассеивают его вследствие наличия линзовых эффектов на ячейках сетки. Кроме того, под воздействием ионного потока сами сетки заряжаются, что приводит к возникновению неконтролируемых потенциалов, ухудшающих характеристики прибора. Сетки в процессе работы подвержены таким явлениям, как провисание, перекосы, вздутие и так далее, которые также приводят к неконтролируемому изменению электрического поля. Указанные недостатки сетчатых зеркал приводят к уменьшению разрешения и светосилы, причем при многократном отражении и с учетом того, что ионный поток проходит каждую из сеток дважды, ситуация существенно усугубляется и становится непрогнозируемой. Кроме того, отсутствует пространственная фокусировка, что определяет малую его светосилу.

В известном устройстве источник и детектор ионов расположены с двух противоположных сторон пространства, занятого ионными зеркалами и дрейфовым пространством. Такое расположение исключает возможность изменения числа отражений ионного пакета без нарушения выбранных начальных параметров ионно-оптической схемы. Это накладывает ограничения на аналитические возможности прибора, так как не позволяет в процессе работы варьировать величины разрешающей способности и светосилы в зависимости от условий аналитической задачи.

Целью изобретения является увеличение светосилы и повышение разрешающей способности путем обеспечения пространственной фокусировки времяпролетного масс-спектрометра с многократным отражением.

Во времяпролетном масс-спектрометре с многократным отражением, содержащем источник и детектор ионов и два ионных зеркала, состоящих из электродов, соединенных с источниками постоянного напряжения, каждый из электродов ионных зеркал выполнен в виде пары пластин, симметрично расположенных относительно общей для обоих зеркал средней плоскости, причем источник и приемник ионов распо-

ложены в свободном от поля пространстве между ионными зеркалами.

Указанные зеркала создают свободный для прохождения ионов ионно-оптический тракт. При этом полностью устраняются такие характерные для точных зеркал потери разрешения и чувствительности, которые связаны с перекрытием пучка, а также с возникновением неконтролируемых зарядов. При этом при определенных соотношениях потенциалов на электродах таких зеркал наряду с времяпролетной можно обеспечить и пространственную фокусировку ионов на детектор, что устраняет указанный недостаток известного устройства и приводит к повышению по сравнению с известным разрешающей способности и светосилы во времяпролетном масс-спектрометре с многократным отражением.

Расположение источника и детектора ионов в бесполеовом пространстве между зеркалами обеспечивает возможность изменения числа отражений без нарушения выбранных начальных параметров ионно-оптической схемы и качества пространственно-временной фокусировки из-за возможности обеспечения пространственно-временной фокусировки при каждом отражении (многократная фокусировка), что расширяет аналитические возможности прибора, так как позволяет в процессе работы простым перемещением источника или детектора ионов варьировать величины разрешающей способности и светосилы в зависимости от условий аналитической задачи.

Времяпролетный масс-спектрометр с многократным отражением отличается тем, что каждый из электродов ионных зеркал выполнены в виде пары пластин, симметрично расположенных относительно общей для обоих зеркал средней плоскости, причем источник и детектор ионов расположены в свободном от поля пространстве между ионными зеркалами.

Известно использование для однократного отражения во времяпролетном масс-спектрометре одного ионного зеркала, составленного из электродов, выполненных в виде пары пластин, симметрично расположенных относительно средней плоскости, которое

обеспечивает в плоскости детектора ионов как пространственную, так и времяпролетную фокусировку. Однако в предлагаемом устройстве два подобных зеркала используются для многократного отражения ионных пакетов во времяпролетном масс-спектрометре, причем электроды того и другого зеркала определенным образом ориентированы один относительно другого - они имеют общую плоскость симметрии. Вследствие указанного появляется новое свойство, приводящее к увеличению разрешающей способности времяпролетного масс-спектрометра (специфическое расположение электродов обоих зеркал).

На чертеже представлена аналитическая часть времяпролетного масс-спектрометра с многократным отражением, общий вид.

Масс-спектрометр содержит источник 1 ионов, приемник 2 ионов, два идентичных ионных зеркала, каждое из которых состоит из электродов 3-5 и 6-8 соответственно. Каждый электрод состоит из двух пластин α и β , параллельных между собой, находящихся под одинаковым потенциалом и расположенных симметрично относительно общей для обоих зеркал средней плоскости xz , в которой находятся центры выходного и входного окон источника и приемника ионов. Пунктирной линией показана траектория движения ионного пакета при многократном отражении. Центры входного и выходного окон источника и приемника ионов находятся на линии CC' пересечения взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии ионных зеркал (плоскости xz и xy).

Масс-спектрометр работает следующим образом.

Ионный пакет, вылетевший из источника ионов по направлению к одному из зеркал, отражается в нем и попадает в другое зеркало, отразившись в котором, снова попадает в поле первого зеркала и т.д. В процессе дрейфа ионный пакет расслаивается по массам и, отразившись многократно в поле ионных зеркал, попадает в приемное окно детектора. При этом дисперсия прибора равна

$$D = k m \frac{\partial T}{\partial m},$$

где T - время прохождения ионами участка пути, ограниченно-го плоскостью xy ;

m - масса иона;

k - число отражений в ионных зеркалах.

Положение источника и приемника ионов выбрано так, что плоскость xy , в которой лежат центры входного и выходного окон источника и приемника, совпадает с главной плоскостью времяпролетной фокусировки, в которой $\frac{\partial T}{\partial \varepsilon} = 0$, причем специальным выбором геометрических и электрических параметров ионных зеркал здесь же обеспечивается одновременно времяпролетная фокусировка по энергии второго порядка $\frac{\partial^2 T}{\partial \varepsilon^2} = 0$ и пространственная фокусировка $\frac{\partial y}{\partial \beta} = 0$ ионного пучка в направлении, перпендикулярном к средней плоскости xz , где ε - начальный разброс энергий в пакете относительно средней энергии; β - начальный угол расходимости ионного пакета в плоскости yz . При этом разрешающая способность равна

$$R = k \frac{T}{d(\Delta t + k \Delta t^{(3)})},$$

где Δt - начальная длительность импульса;

$\Delta t^{(3)}$ - времяпролетная абберация третьего порядка малости по энергии при однократном отражении.

Величина R увеличивается с ростом числа отражений до тех пор, пока величина $k \Delta t^{(3)}$ мала по сравнению с Δt .

Перемещение источника или детектора ионов в направлении оси x позволяет использовать масс-спектрометр с различным числом отражений при сохранении выбранных начальных параметров его ионно-оптической схемы, причем качество пространственно-временной фокусировки не нарушается. Этим обеспечивается работа при повышенных разрешениях или светосиле в зависимости

от условий поставленной аналитической задачи, т.е. расширяются аналитические возможности прибора.

Параметры ионно-оптической схемы, при которых реализуется пространственно-временная фокусировка, находятся решением уравнений движения с учетом распределения потенциала в средней плоскости ионных зеркал

$$V(z) = V_3 + \frac{2}{\pi} (V_3 - V_4) \arctg e^{\frac{\pi}{d}(z-z_{34})} +$$

$$+ \frac{2}{\pi} (V_5 - V_4) \arctg e^{\frac{\pi}{d}(z-z_{45})}$$

и наложения условий

$$\left(\frac{\partial t}{\partial \varepsilon}\right)_{\varepsilon=0} = 0, \quad \left(\frac{\partial^2 t}{\partial \varepsilon^2}\right)_{\varepsilon=0} = 0,$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial \beta}\right)_{\beta=0} = 0, \quad z_{\text{ист}} = z_{\text{дет}},$$

где V_3, V_4, V_5 (или соответственно

V_8, V_7, V_6) - потенциалы на электродах 3-5 (или 6-8);

d - расстояние между пластинами каждого электрода;

z_{34} и z_{45} (или z_{78} и z_{67}) -

координаты середины межэлектродных щелей;

t - время пролета ионов с произвольной энергией участка пути, ограниченного плоскостью xy ;

$z_{\text{ист}}$ и $z_{\text{дет}}$ - координаты выходного и входного окон источника и приемника ионов.

Например, прибор содержит трехэлектродное зеркало со следующими параметрами: размер электродов 3 и 5 (6 и 8) в направлении оси z не менее $3d$, размер электрода 4 (7) - $0,83d$, расстояние от плоскости xy до параллельной ей плоскости, проходящей через центр щели между электродами 3 и 4 (7 и 8), равно $5,67d$. Зазор между электродами составляет $0,1d$.

Значения потенциалов на электродах, выраженные в относительных единицах, равны

$$\frac{V_3}{V_0} = \frac{V_8}{V_0} = -0,546; \quad \frac{V_4}{V_0} = \frac{V_7}{V_0} = 0,$$

$$\frac{V_2}{V_6} = \frac{V_5}{V_0} = 1,$$

где eV_0 - средняя энергия ионов в пакете;

e - заряд иона.

Выбор размера электродов в направлении оси x зависит от максимального задаваемого числа отражений и угла наклона траектории ионов к оси z в момент вылета их из источника в проекции на среднюю плоскость. В конкретном приборе при пятикратном отражении и угле падения $\approx 3^\circ$ этот размер равен 8,5d.

Предлагаемый масс-спектрометр не сложен в исполнении, его детали и узлы технологичны. В нем осуществляется двойная фокусировка ионного пучка: по времени пролета (с точностью до аббераций второго порядка малости) и пространственная фокусировка в одном направлении. При этом

по сравнению с известным вследствие отсутствия сеток на пути движения ионного пакета и наличия пространственной фокусировки светосила прибора увеличивается в 10-20 раз. Одновременно расширяются аналитические возможности прибора.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Времяпролетный масс-спектрометр с многократным отражением, содержащий источник и детектор ионов и два ионных зеркала, состоящих из электродов, соединенных с источником постоянного напряжения, отличающийся тем, что, с целью увеличения светосилы и повышения разрешающей способности путем обеспечения пространственной фокусировки, каждый из электродов ионных зеркал выполнен в виде пары пластин, симметрично расположенных относительно общей для обоих зеркал средней плоскости, причем источник и приемник ионов расположены в свободном от поля пространстве между ионными зеркалами.

Редактор И.Шулла

Составитель Л.Секунова

Техред М.Дидык

Корректор М.Самборская

Заказ 1180

Тираж

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г.Ужгород, ул. Гагарина, 101